



述评专家简介：郝卫亚，研究员，博士生导师，“新世纪百千万人才工程”国家级人才。长期负责国家体操队有关运动技术的科技保障工作，主持和参与国家自然科学基金项目、国家高科技计划(863)、中国博士后科学基金项目、科技部国际合作课题等国家级课题8项，主持国家体育总局科研攻关与科技服务课题6项。在国内外发表科研论文70余篇，其中国家核心期刊和国际期刊40余篇，被国际三大科学与工程检索数据库(SCI, EI, ISTP)收录16篇；主编教材1部，参编专著3部；获省部级以上奖6项。担任多个学术团体职位：中国体育科学学会运动生物力学分会常委兼秘书长，全国人类工效学标准化技术委员会委员，《医用生物力学》和《中国运动医学杂志》编委，北京生物医学工程学会生物力学专业委员会委员等。

评析文章： Biomechanics and Tennis

B. Elliott. (2006). *J. Sports Med.* 40; 392-296

对 Elliott “生物力学与网球” 一文的述评

郝卫亚（国家体育总局体育科学研究所，中国北京）

关键词： 网球；肌肉预张力；动力学链；负荷；网球肘

Comment on the Article "Biomechanics and Tennis" Written by Elliott

Key words: tennis; muscle pre-tension; kinetic chain; loading; tennis elbow

提要：在网球比赛中取胜，需要有天赋的运动员、优秀的教练员、适合的器材，以及对这个运动项目相关的体育科学的有关方面的理解。本文从体育科学和运动医学角度阐述了生物力学在运动员发展中的作用。生物力学在运动员发展中起着关键性的作用，因为所有的击球都具有一个基本的力学结构，运动损伤都是由于力学因素引起的。这篇发表在《英国运动医学杂志》上的研究综述从不同角度论述了网球运动中的生物力学问题。文章全面涵盖了网球运动所涉及的生物力学一般理论、网球运动技术和网球运动损伤生物力学。文章作者 Bruce Elliott 教授长期从事网球等运动的生物力学研究，是国际著名的运动生物力学专家，曾为国际运动生物力学学会（International Society of Biomechanics in Sports, ISBS）主席。

重要名词：

肌肉预张力 (Muscle pre-tension)：在一个肌肉伸长-缩短周期中，在离心（伸长）运动期间一部分弹性能（elastic energy）储存在肌肉中，这样向心运动（缩短）就会得到加强。

动力学链 (Kinetic chain)：指人体通过协调足、小腿、大腿、躯干、上臂、前臂等环节的一系列运动，达到动力传递。网球发球中动力学链包括腿前移、躯干旋转、上肢抬升与屈曲、前臂伸展与下旋、上臂内旋、手屈曲等动作。

负荷 (Loading)：人体受到外部或者内部的作用力和力矩。外部作用力可能有地面反作用力和振动作用，内部作用力包括肌肉力和力矩。一般地，负荷应包括力或者力矩的增长率、峰值等指标。

网球肘 (Tennis elbow)：医学名称为肱骨外上髁炎，即是在肱骨和其外髁的总伸肌腱附着部位出现裂伤，因网球运动员易患此病而得名。

研究背景

实践背景

众所周知，网球运动在世界上是最受关注的体育运动项目之一。有关网球的生物力学研究也一直是人们研究的热点之一。

对于从事有关网球运动的运动员、教练员都会十分关注以下问题：什么样的发球技术是符合科学规律的？什么样的接球技术是合理的？什么样的球拍是更加适合的？在网球训练和比赛中如何既能够提高运动技术又可以避免运动损伤？

回答上述问题需要大量的生物力学研究，科学工作者一直在为解答上述问题，为提高运动员的运动技术和预防运动损伤而不懈地努力。

理论背景

作为运动生物力学专家，为满足运动员、教练员和普通网球爱好者的运动需求，要进行以下几个方面的研究：网球发球和接球中存在哪些生物力学规律？发生运动损伤的原因是什么？在网球运动员身上我们还可以发现什么样的生物学规律？

普遍原理

击打动作在很多运动项目中都是非常重要的动作。它是一种碰撞技术，运动链系统的远端环节（击打中的手或者拍/棍）对球或者对手（物体）产生碰撞作用。有击打动作的运动项目有：网球、曲棍球、棒球、羽毛球、拳击和排球等。击打运动通常有几个运动阶段：准备阶段、后摆、前摆、击打和随后运动阶段，这几个阶段要有机地结合起来。



与其它运动项目一样,研究网球运动生物力学首先要探讨与其相关的普遍的生物力学规律。

网球发球、击地面球(groundstroke)和截击(volley/service return)时环节通常先向相反方向运动,然后再击球。这种向相反方向运动,一方面有利于随后运动的实现,增加了加速距离作用;另一方面可以起到拉长—缩短周期的作用。肌肉拉长—缩短周期作用包括牵张反射、弹性能的储存和拉长肌肉至最有利收缩的最佳长度(与肌肉收缩的长度—张力曲线有关)。在肌肉拉长—缩短周期中,肌肉离心运动(牵拉)过程中储存弹性能可以部分恢复,转化为向心(收缩)运动过程中动能。实现这样的弹性能转化的关键就是牵拉和收缩之间的时间间隔要短。

网球发球中运动链包括腿前移、躯干旋转、上肢抬升与屈曲、前臂伸展与下旋、上臂内旋、手屈曲。这样的运动链使球拍高速运动,达到击球效果。击球精确性也是很重要的,它一般要求参与完成发球动作的环节更加协调一致,如同一个整体运动。

网球击球动作的目的就是使网球达到一定的速度并有效地控制其飞行速度。击打后的网球飞行速度影响因素有很多,包括挥拍速度和球拍本身的物理特征及碰撞点。而挥拍速度又与准备阶段、后摆、前摆以及击球随后运动等因素有关。球的飞行轨迹不仅受到空气阻力和重力作用影响,而且击球时网球受到球拍作用力的方向和位置(如偏心作用力)影响。后者会影响网球的飞行时间与旋转速度。球拍本身的物理特征由球拍质量、转动惯性及其弹性特征组成。球拍的弹性特征是由网线的弹性特性、几何尺寸及其编织松紧程度确定。

击球生物力学

网球中击球动作特征在发球、击地面球和截击中都有所不同。发球运动中,环节运动表现出由近端环节向远端环节的运动顺序。在发球击球时,下肢蹬地、躯干旋转动作、上臂旋内、腕关节屈都对球拍速度有贡献。

击地面球可以按照击打上旋球、下旋球、正手和反手等不同来球特点和击球动作进行分别研究。如Elliott等(1989)对正手多环节击球的不同环节的作用进行了研究;Takahashi等(1996)对正手击上旋球的生物力学基础进行了研究。

截击时击球的控制比发力更重要,正手和反手截击动作中躯干的转动都很小,截击时击球精确控制主要依靠上肢的精准动作实现。

运动医学

损伤是运动员生命中一种不可避免的因素。无论运动员的竞技水平如何,从业余运动员到奥运选手,都会遭受由于肌肉骨骼损伤引起的活动限制和失望。减少运动损伤机会及促进受伤运动员损伤后的治疗和恢复需要多学科的配合,包括运动员的解剖、生理、医学、运动学、心理学和力学方面。大多数损伤有着其力学原因,力及其相关因素(如能量)是决定损伤可能性和严重程度的基本因素,因此生物力学是损伤的研究重点。

一般情况下,人体运动由内力(即肌肉收缩力)和作用于人体的外力(即重力、地面和/或体育器械对人体作用力)所产生和控制。通常,人体的软组织和骨骼都可以

安全地承受这些力。这些力对人体组织器官(特别是骨骼等)的正常生长和发育起着十分关键的作用。没有力学因子的刺激,骨骼、肌肉和很多软组织都将出现退化或者萎缩。但是,当力超过了组织可以承受的能力,就会产生损伤。对所有的与损伤有关的力来说,决定损伤性质和程度的因素有7个(Whiting & Zernicke, 1998):力的大小、位置、方向、作用持续时间、频率(力作用的频繁程度)、可变性(在作用过程中力的大小是稳定的还是变化的)和力增长率(力以何种速度作用于身体)。由一次或一些超负荷事件引起的损伤称为急性(acute)损伤。在猛烈的碰撞时候经常发生这种急性损伤。反复的负荷会导致组织损伤,这种损伤被称为过度使用(overuse)或慢性(chronic)损伤。

流行病学调查表明,网球损伤主要由于过度使用引起的(Maquirriain, 2006; Pluim, 2006)。运动员训练比赛时受到一定的外载荷(地面反力和振动)和内载荷(肌肉力和力矩)。载荷指标包括载荷增长率、力与力矩的最大值等。运动员肩和肘关节受到的载荷与发球速度、膝关节屈伸运动都有关系。

“网球肘(tennis elbow)”因网球运动员易患此病而得名,它的医学名称为肱骨外上髁炎,即是在肱骨和其外髁的总伸肌腱附着部位出现裂伤。伤害原因为当伸肌收缩时腕部同时作剧烈屈曲动作,通常都是在反手打网球时动作不当所致。肱骨外上髁炎并不仅仅发生于网球运动员,在其它涉及做反手击球动作的运动员(如壁球、高尔夫)也易患外上髁炎。此外日常生活动作也可引起,如举起重物等。

肩部损伤的原因之一可能是由于负责上臂加速然后减速的肌群的力/力矩峰值的不平衡造成。在肌肉力量训练中,要同时注意训练其向心收缩和离心收缩模式,肌肉力量的不平衡将导致运动损伤。

值得学习的优点

从美国医学索引(Medline)数据库中可以搜索到超过2 000多篇有关网球的研究论文,仅2006年1~5月就有58篇这样的论文。这些数据说明有关网球运动项目的研究仍是当前研究的热点之一。有关网球运动生物力学的研究也是这类研究的重要组成部分。科研工作者在很多不同的杂志上发表了大量科研论文。这些论文以各种不同的形式表现,限制了它们的应用。本文则从运动技术和运动医学两个不同角度,简要地整合了有关网球的生物力学研究。

运动生物力学的任务就是通过生物力学(特别是骨骼肌肉系统生物力学)研究,提高运动成绩,降低运动损伤,促进人类健康水平。Elliott教授的这篇有关网球运动项目的生物力学综述文章,从分析网球的运动技术特征和运动损伤的机理与防护两个方面入手,进行了高度概况与分析,勾画出了网球运动生物力学研究的基本轮廓。通过阅读本论文,读者可以掌握网球运动生物力学的基本情况,为进一步深入研究提供了必要的基础。同时,本文也可以作为研究其它运动项目(特别是有击打动作的运动项目)生物力学的参考。

值得改进的地方

本文作为一篇发表在运动医学杂志上的综述文章,重点



介绍了有关网球生物力学方面的基本信息,对研究网球所涉及到的生物力学基本原理、技术与方法都没有进行深入的论述。读者通过阅读本文可以对有关网球生物力学有一个全面的掌握,但如果作为一名专门从事生物力学研究的科研工作者,还需要通过阅读更多文章,才能对网球生物力学有更深层次的认识,才可能开展更加有意义的网球或者其它类似运动项目生物力学的研究。

参考文献:

- [1] Akutagawa S, Kojima T. (2005). Trunk rotation torques through the hip joints during the one- and two-handed backhand tennis strokes. *J Sports Sci*, 23: 781-793.
- [2] Bower R, Cross R. (2005). String tension effects on tennis ball rebound speed and accuracy during playing conditions. *J Sports Sci*, 23: 765-771.
- [3] Cross R, Bower R. (2006) Effects of swing-weight on swing speed and racket power. *J Sports Sci*, 24: 23-30.
- [4] Decicco PV, Fisher MM. (2005). The effects of proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on shoulder range of motion in overhand athletes. *J Sports Med Phys Fitness*, 45: 183-187.
- [5] Gordon BJ, Dapena J. (2006). Contributions of joint rotations to racquet speed in the tennis serve. *J Sports Sci*, 24: 31-49.
- [6] Maquirriain J, Ghisi JP. (2006). The incidence and distribution of stress fractures in elite tennis players. *Br J Sports Med*, 40: 454-459.
- [7] Pluim BM, Staal JB, Windler GE, Jayanthi N. (2006). Tennis injuries: occurrence, aetiology, and prevention. *Br J Sports Med*,

40: 415-23.

- [8] Takahashi K, Elliott B, Noffal G. (1996). The role of upper limb segment rotations in the development of spin in the tennis forehand. *Aust J Sci Med Sport*, 28: 106-13.
- [9] Elliott BC. 击打和踢。见: 扎齐奥尔斯基 FM. (2004, 陆爱云译审): 运动生物力学, 493-512. 北京: 人民体育出版社
- [10] Zernicke RF, Whiting WC. 肌肉骨骼损伤的机制。见: 扎齐奥尔斯基 FM. (2004, 陆爱云译审): 运动生物力学, 515-530. 北京: 人民体育出版社
- [11] 刘卉. 上肢鞭打动作技术原理的生物力学研究[J]. 体育科学, 24: 30-36.

相关文献推荐:

- [1] 扎齐奥尔斯基 FM. (2004, 陆爱云译审): 运动生物力学, 493-512. 北京: 人民体育出版社
- [2] Ida H, Kusubori S, Ishii M. (2005). Kinematics and kinetics of the racket-arm during the soft-tennis smash under match conditions. *J Appl Biomech*, 21: 334-347.
- [3] Jacobson JA, Miller BS, Morag Y. (2005). Golf and racquet sports injuries. *Semin Musculoskelet Radiol*, 9: 346-359.
- [4] Palut Y, Zanone PG. (2005). A dynamical analysis of tennis: concepts and data. *J Sports Sci*, 23: 1021-1032.

(责任编辑: 何聪)